

Рис. 1 – Паллета литой конструкции из чугуна СЧ25:

а – вид снизу на паллету; б – вид на узел опорного колеса; в – разрушение части опоры рамы под колесом; г – механическая обработка узла установки колес; д – установка стальной вставки для крепления узла колеса; е – вид на раму паллеты снизу с установкой вставки под узел колеса

Рамы из чугуна СЧ25 со встроенными в них стальными вставками под опоры колес показали при эксплуатации надежную работу, не уступая сварным конструкциям. При этом трудоемкость и цикл изготовления рам паллет значительно снижены.

Логично предположить, что при использовании для изготовления рам паллет высокопрочного чугуна с шаровидным графитом или с вермикулярным графитом нет необходимости в установке стальных вставок в раму под опоры колес.

Выводы:

1. В транспортных системах автоматизированных литейных линий получили применение сварные конструкции рам паллет. Их производство связано со значительными трудовыми затратами и длительным циклом производства.

2. Перспективным вариантом могло бы стать изготовление рам тележки методом литья из чугуна. Однако сведения об этом в технической литературе отсутствуют.

3. Рассмотрены варианты изготовления рам паллет из чугунов: с шаровидным графитом, с вермикулярным графитом, серого с пластинчатым графитом.

4. На основе анализа реальных нагрузок при эксплуатации паллет разработана литая конструкция рамы из серого чугуна СЧ25 и осуществлена отливка их опытной партии.

5. Длительная эксплуатация литых паллет из серого чугуна СЧ25 показала их приемлемость использования в составе АФЛ при условии установки стальных вставок в наиболее нагруженной зоне опорных колес.

Список литературы: 1. Диордийчук В.В., Шкода В.А. Транспортные системы автоматизированных формовочных линий крупного литья // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиностроение и САПР. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – №19. – С. 95-100. 2. Васильченко В.Т., Рутман А.Н., Лукьяненко Е.П. Справочник конструктора металлических конструкций. – Киев: Будівельник, 1990. – 312с. 3. Гиринович Н.Г. Справочник по чугуно-му литью. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с. 4. Диордийчук В.В., Шкода В.А. Анализ силовых нагрузок и изгибающих моментов, воспринимаемых паллетами автоматизированных формовочных линий // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиностроение и САПР. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – №38. – С. 152-159. 5. Диордийчук В.В., Игнатенко С.В., Попова Н.Д. и др. Паллета автоматизированной формовочной линии. Патент Украины № 72582, кл. В22С19/00. Опубл. 27.08.2012, бюл. № 16.

Поступила в редакцию 04.10.2012

УДК 621.01: 656.135: 539.3

Н.Л. ИВАНИНА, инж.-констр., НТК ЧАО „АзовЕлектроСталь”, Мариуполь;
В.И. ГОЛОВЧЕНКО, к.т.н., вед. инж.-констр., НТК ЧАО „АзовЕлектро-Сталь”, Мариуполь

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГАБАРИТНОЙ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ ДЛИННОБАЗНЫХ СЕДЕЛЬНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ИХ ПОВОРОТАХ НА 90° И 180°

На основі досвіду проектування та випробувань на маневрові якості седлових автопоїздів встановлено, що у разі автопоїзду з базою напівпричепа понад 10 м розрахунок габаритної смуги руху при повороті на 90° та 180° має бути обов'язково доповнений кінематичним аналізом руху ланок автопоїзду з метою перевірки можливості зупинки обертання внутрішніх коліс візка напівпричепа в процесі повороту та обчисленням показника поперечного юза.

Ключові слова: седельний автопоїзд, габаритна смуга руху, кінематичний аналіз, радіус повороту

На основе опыта проектирования и испытаний на маневренность седельных автопоездов установлено, что в случае автопоезда с базой полуприцепа свыше 10 м расчет габаритной полосы движения при повороте на 90° и 180° должен быть обязательно дополнен кинематическим анализом движения звеньев автопоезда с целью проверки возможности остановки вращения внутренних колес тележки полуприцепа в процессе поворота и вычислением показателя поперечного юза.

Ключевые слова: седельный автопоезд, габаритная полоса движения, кинематический анализ, радиус поворота.

Experience gained from designing and testing for maneuverability of saddle automobile trains proved that in case of a train with semitrailer base length over 10 m calculations for turn band dimensions at 90° and 180° turns must be supplemented with kinematic analysis with the aim of checking if the semitrailer boggy inner wheels can stop their rotation in the course of turn as well as with the aim of calculating the rate of transverse sliding.

Keywords: saddle automobile train, band dimension of motion, kinematic analysis, turning radius.

Введение. Как известно, автопоезд обладает меньшей маневренностью, чем одиночный автомобиль, поэтому при его проектировании уделяется особое внимание вопросам обеспечения вписываемости (т.е. соответствия его габаритной полосы криволинейного движения внешним ограничениям на пути движения или на месте эксплуатации), особенно – если полуприцеп автопоезда длинноразный (свыше 8 м),

© Н.Л. Иванина, В.И. Головченко

а колеса тележки – неуправляемые. Вписываемость автопоезда определяется расчетом (графоаналитическим построением габаритной полосы движения (ГПД) на повороте, рис. 1) и (или) экспериментально путем испытаний. В литературе вопросам проверки вписываемости длиннобазных автопоездов не уделяется достаточного внимания, поэтому на практике расчет и построение габаритной полосы движения для них выполняется по той же методике, что и для короткобазных автопоездов.

Не освещаются в литературе и вопросы поперечного юза колес автотранспортных средств при поворотах, что весьма важно для многоосных полуприцепов, в частности, таких, как выпускаемые ПАО „Азовмаш” (г. Мариуполь) полуприцепы-топливозаправщики, полуприцепы для транспортировки сжиженных углеводородных газов, полуприцепы для транспортировки длинномерных грузов. Результаты же испытаний на маневренность автопоездов с длиной базы 13,2 м показали, что при неудачно принятых параметрах движения при крутых поворотах возможна остановка внутренних по отношению к центру поворота колес тележки полуприцепа (или даже их вращение в обратную сторону) и значительный поперечный юз.

Выбор режимного параметра поворота. Чтобы обеспечить плавность траектории и при этом вписаться в ограничения на местности, должна быть правильно задана величина режимного параметра поворота – отношения угловой скорости поворота управляемых колес (условно – скорости вращения водителем рулевого колеса) к линейной скорости движения автотранспортного средства. Как отмечено в [1], для обеспечения плавности поворота автопоезда траектория шкворня седельно-сцепного устройства (основная траектория тягача) должна обязательно иметь три участка: участок входа в поворот, круговой участок, участок выхода из поворота.

Центральный угол кругового участка основной траектории тягача (см. рис. 1) определяется по формуле [1]:

$$\varphi_k = \Psi - 2\psi_{0\max}, \quad (1)$$

где Ψ – угол поворота автопоезда; $\psi_{0\max}$ – максимальный угол поворота продольной оси тягача по отношению к первоначальному направлению движения на переходном (входном, выходном) участке траектории.

Текущее значение величины угла поворота продольной оси тягача ψ_0 определяется по формуле [1]

$$\psi_0 = -\ln \cos \Theta_0 / k_n \cdot L_0, \quad (2)$$

где Θ_0 – угол поворота управляемых колес тягача; L_0 – расстояние от основной точки тягача (седла) до передней оси (по проекции на плоскость дороги); k_n – режимный параметр.

Максимальное значение угол ψ_0 имеет при $\Theta_0 = \Theta_{0\max}$,

$$\Theta_{0\max} = \arctg(L_0 / R_{0\min}), \quad (3)$$

где $R_{0\min}$ – минимальный радиус кругового участка основной траектории тягача (см. рис. 2, $R_0 = R_{0\min}$ при $R_{HK} = R_{HK\min}$),

$$R_{0\min} = \sqrt{R_{HK\min}^2 - L_0^2} - 0.5 B_K, \quad (4)$$

где $R_{HK\min}$ – минимальный радиус поворота переднего наружного колеса тягача; B_K – колея передних колес тягача.

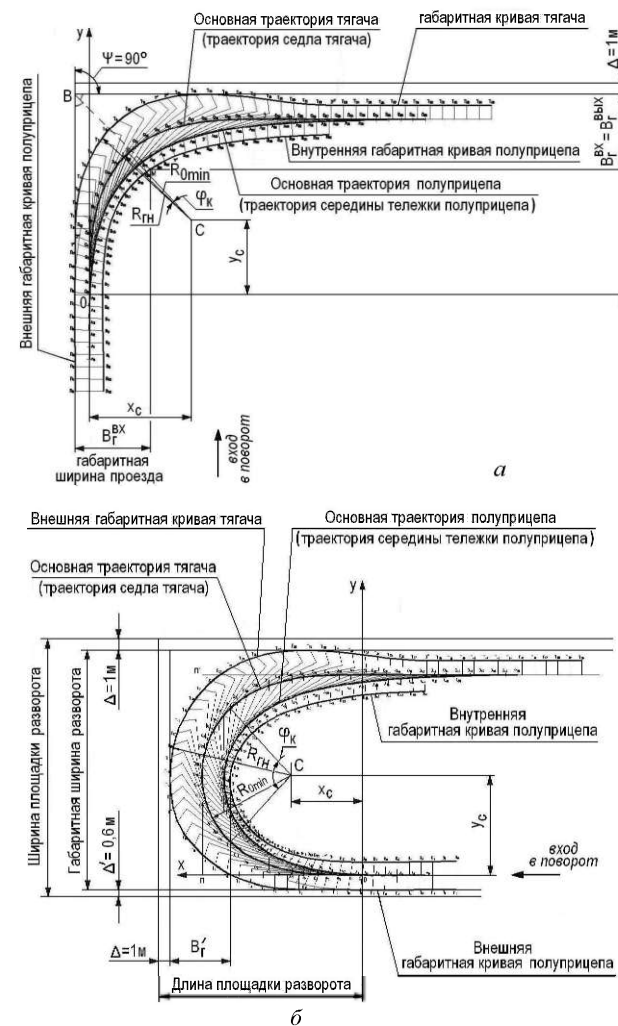


Рис. 1 – ГПД автопоезда при его повороте: а – на 90°; б – на 180°

В [1] дан диапазон рекомендуемых значений режимного параметра при движении автомобилей в различных условиях. В соответствии с этими рекомендациями и формулами (1)-(4) поворот, например, автомобиля-тягача КрАЗ-64431 ($L_0 = 4,64$ м, $B_K = 1,99$ м, $R_{HK \min} = 10,3$ м) на 90° с минимальным радиусом кругового участка ($R_{0 \min} = 8,2$ м) возможен при значении режимного параметра не менее $0,039$ рад/м. При $k_n < 0,039$ рад/м, как показывают вычисления, центральный угол кругового участка основной траектории тягача оказывается отрицательным (рис. 3, а). Это означает, что траектория тягача будет иметь только два участка: участок входа в поворот и участок выхода из поворота, и эти участки не будут иметь плавного сопряжения, что осуществить без остановки автомобиля невозможно.

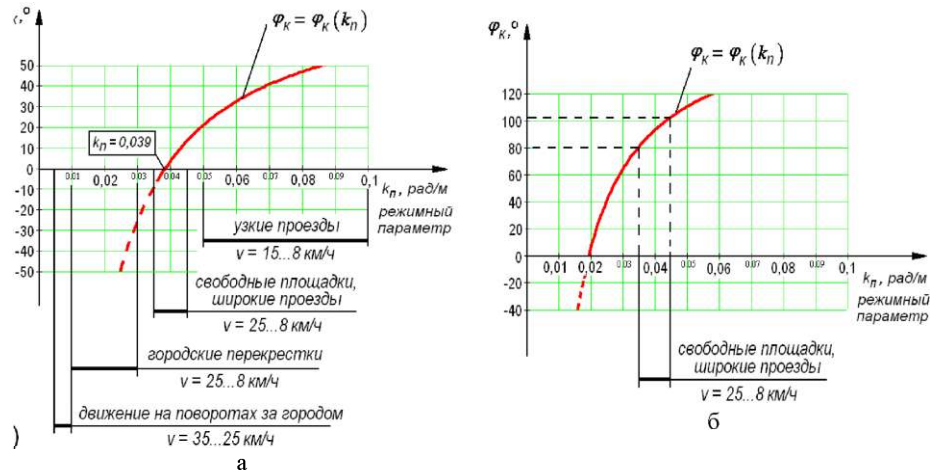


Рис. 3 – Зависимость центрального угла φ_K кругового участка основной траектории тягача КрАЗ-64431 от режимного параметра k_n при коэффициенте сцепления $\varphi_n > 0,6$ (сухая дорога с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием [4]): а – поворот на 90° ; б – разворот на 180°

При таких значениях k_n поворот возможен только при $R_0 > R_{0 \min}$. При

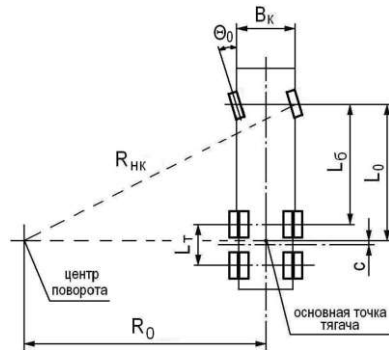


Рис. 2 – К определению радиуса R_0

центрального угле кругового участка, например, $\varphi_K = 10^\circ$ поворот на 90° возможен при $k_n = 0,037$ рад/м и $R_0 = 9$ м, $k_n = 0,03$ рад/м и $R_0 = 10$ м, $k_n = 0,022$ рад/м и $R_0 = 12$ м, $k_n = 0,014$ рад/м и $R_0 = 15$ м, что видно из графиков на рис. 4, построенных на основании формул (1)-(4). Разворот этого же тягача на 180° при $R_0 = R_{0 \min} = 8,2$ м возможен при значении режимного параметра не менее $0,02$ рад/м (рис. 3, б). При $k_n < 0,02$ рад/м разворот на 180° возможен только при $R_0 > R_{0 \min}$ (рис. 5).

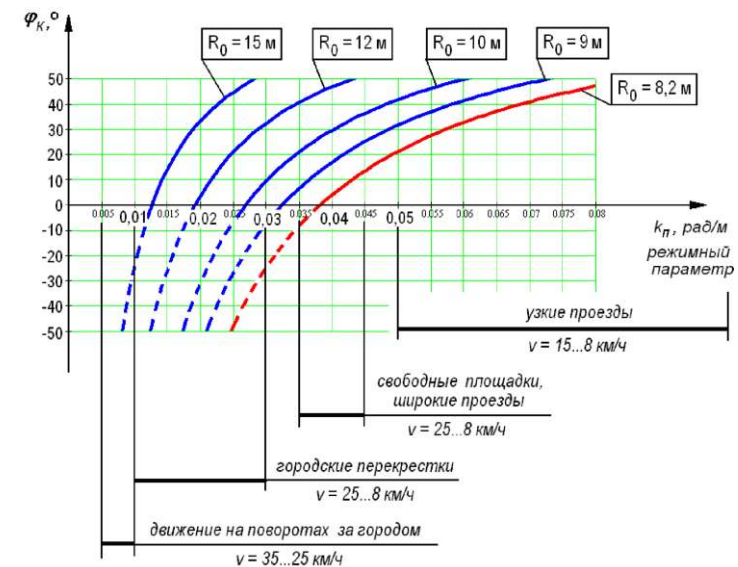


Рис. 4 – К определению возможного радиуса поворота тягача КрАЗ-64431 на 90° при режимном параметре $k_n < 0,039$ рад/м

Для сравнения, поворот автомобиля-тягача МАЗ-6422А5, база которого меньше базы тягача КрАЗ-64431 на $1,3$ м ($L_0 = 3,34$ м, $B_K = 2,032$ м, $R_{HK \min} = 9,2$ м) с минимальным радиусом кругового участка ($R_{0 \min} = 7,56$ м) возможен при меньших значениях режимного параметра: $k_n = 0,034$ рад/м (на 90°) и $k_n = 0,018$ рад/м (на 180°).

В реальных условиях умение задать правильную величину режимного параметра зависит от мастерства водителя, который на основе своего опыта определяет необходимую скорость вращения рулевого колеса в зависимости от скорости движения автомобиля на повороте. Но даже самый хороший водитель не сможет вписаться в поворот, если геометрические параметры управляемого им автотранспортного средства не будут соответствовать имеющимся на конкретной местности условиям проезда. С другой стороны,

как показывает практика, то, что водитель в ограниченных условиях местности смог вписаться в поворот, еще не означает, что транспортное средство совершило поворот во всех отношениях удовлетворительно.

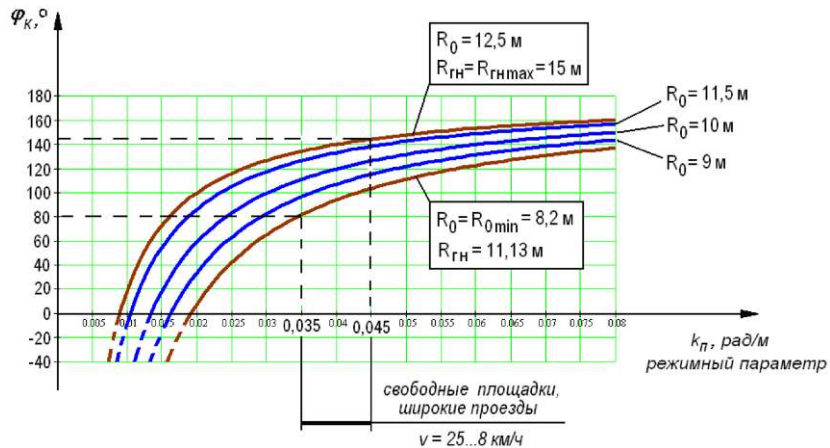


Рис. 5 — К определению возможного режима поворота тягача КрАЗ-64431 на 180°

Самым распространенным отрицательным явлением, на которое необходимо обращать внимание водителю автопоезда с полуприцепом с неуправляемыми колесами при совершении поворота, является поперечный юз колес тележки. Хотя поворот не только многоосного, но даже двухосного полуприцепа без поперечного юза невозможен в принципе, его величина должна быть сведена к минимуму. В литературе вопрос поперечного юза колес тележки не рассматривается, в частности, в работах [1-4] о нем не упоминается ничего.

Очевидно, что допустимую величину юза определить для общего случая практически невозможно, так как она зависит и от скорости движения полуприцепа, и от коэффициента сцепления его шин с дорогой, и от сил сцепления шины с ободом колеса. Считается, что для нормальных условий эксплуатации величина юза при повороте приемлема тогда, когда визуально он не определяется. Иначе говоря, радиус поворота автотранспортного средства, при котором замечен поперечный юз колес, считается недостаточным.

Другим отрицательным явлением, на которое необходимо обращать внимание и водителю, и специалистам, выполняющим расчет и построение габаритной полосы движения автопоезда на поворотах, является вращение колес тележки в сторону, обратную направлению движения тележки полуприцепа. Это явление имело место и при испытаниях на маневренность автопоезда в составе тягача КрАЗ-64431 и двухосного полуприцепа с длиной базы 13,2 м на ПАО „Азовмаш”. Было замечено, что даже при обеспечении плавности траектории тягача при осуществлении поворота, т.е. при наличии в траектории кругового участка, при недостаточно большом радиусе поворота колеса

тележки полуприцепа не только испытывают значительный поперечный юз, но и на определенной стадии поворота внутренние по отношению к центру поворота (далее — «внутренние») колеса могут перестать вращаться, либо даже начать вращение в обратную сторону. Поскольку такое явление недопустимо, изучение причин его возникновения и определение условий его предотвращения является весьма актуальной задачей для проектировщиков длиннобазных полуприцепов с неуправляемыми колесами.

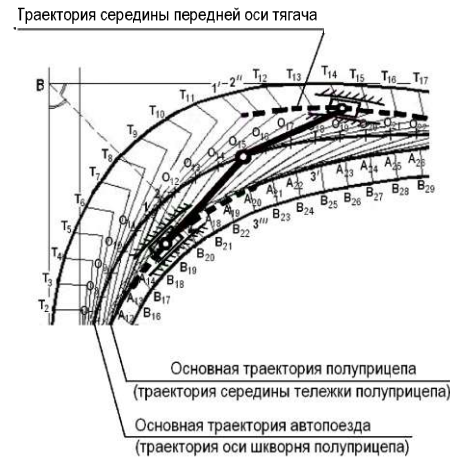


Рис. 6 — Схематическое представление движения автопоезда на повороте

тележки полуприцепа (А)). На основе ГПД строится план положений звена-полуприцепа и по известной по величине и направлению скорости основной точки автопоезда (т. О) и известному направлению скорости основной точки полуприцепа (т. А) методом планов скоростей определяется скорость этой точки (рис. 7, б) $\vec{v}_A = \vec{v}_O + \vec{v}_{A/O}$, а далее — скорости центров колес тележки полуприцепа (рис. 8)

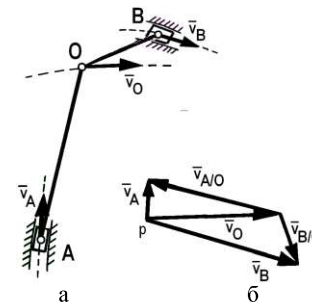


Рис. 7 — К вопросу кинематического анализа автопоезда:

а — кинематическая схема автопоезда; б — план скоростей для текущего

$$\vec{v}_{K_i} = \vec{v}_A + \vec{v}_{K_i/A}, \quad (5)$$

где $v_{K_i/A} = \omega_{K_iA} \cdot K_iA$,

$$\omega_{K_iA} = \omega_{OA} = \vec{v}_{O/A} / OA = |\vec{v}_{O/A}| / OA, \quad (6)$$

где i — номер колеса (на рис. 8 рассмотрен вариант полуприцепа на трехосной тележке, колеса 1 и 2 принадлежат передней оси тележки,

колеса 3 и 4 – средней оси, а колеса 5 и 6 – задней оси).

Как видно из схем и планов скоростей, изображенных на рис. 7 и 8, вследствие наличия составляющей скорости т. О (шкворня полуприцепа) относительно т. А (центра тележки), вызывающей вращение полуприцепа как жесткого тела относительно центра тележки (скорость $\vec{v}_{O/A}$, $\vec{v}_{O/A} = -\vec{v}_{A/O}$), линейные скорости центров наружных колес (колеса 1, 3, 5) при совершении автопоездом поворота увеличиваются по сравнению со скоростью центра тележки, а линейные скорости центров внутренних колес (колеса 2, 4, 6) уменьшаются. Уменьшение линейной скорости центров внутренних колес тележки приводит к замедлению вращения этих колес.

Наибольшее замедление вращения имеет колесо средней оси, что видно из рис. 8, в. В данном случае все внутренние колеса тележки движутся в направлении движения центра тележки (об этом свидетельствует то, что проекции скоростей центров колес на направление скорости центра тележки положительны). Следовательно, их вращение происходит в ту же сторону, что и вращение наружных колес, т.е. в направлении движения автопоезда. Однако поскольку величина скорости центра внутреннего колеса определяется как сумма вектора скорости центра тележки и вектора вращательной скорости центра колеса относительно центра тележки, при определенном соотношении величин этих векторов суммарный вектор может стать таким, что его проекция на направление скорости центра тележки будет отрицательной. В этом случае колесо будет вращаться в направлении, обратном направлению движения автопоезда.

Из рис. 8, в также видно, что поскольку векторы скоростей центров колес не совпадают по направлению с вектором скорости центра тележки, все колеса при повороте имеют поперечный юз, причем колеса передней и задней осей испытывают больший юз, чем колеса средней оси.

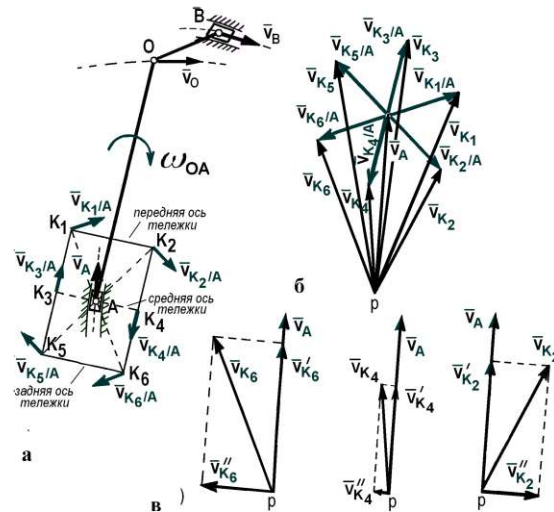


Рис. 8 – Кинематический анализ автопоезда: а – кинематическая схема автопоезда, б – план скоростей центров колес тележки полуприцепа, в – разложение скоростей центров внутренних колес на составляющие вдоль и поперек направления движения центра тележки

Наличие эффекта замедления вращения внутренних колес тележки на поворотах обуславливает необходимость при расчетах параметров габаритной полосы движения автопоезда при повороте выполнять дополнительный анализ скоростей колес с тем, чтобы гарантировать невозможность остановки колес и тем более – их вращения в обратную сторону. Суть этого анализа состоит в установлении соотношений между величинами векторов скорости центра тележки полуприцепа и вращательной скорости центров колес относительно центра тележки. Как видно из плана скоростей (рис. 8, б) и формул (5), (6), замедление вращения внутренних колес будет тем больше, чем меньше будет скорость центра тележки \vec{v}_A и чем больше будет угловая скорость вращения полуприцепа относительно этого центра ω_{OA} .

Если построить планы скоростей точек А, О и Р автопоезда для ряда его последовательных положений в процессе поворота, получаем картину, представленную на рис. 9. При построении данных планов скоростей принималось, что величина линейной скорости тягача в процессе поворота остается постоянной, как это принято в работах [1] и [2]. Геометрические характеристики автопоезда и параметры движения приняты следующими: база тягача $L_0 = 4,64$ м, база полуприцепа 9,0 м (от седельно-сцепного устройства до первой оси тележки полуприцепа), тележка полуприцепа – трехосная, расстояние между осями 1,4 м/ 1,4 м, ширина колеи тележки 2,0 м, радиус поворота тягача $R_0 = R_{0\min} = 8,2$ м, режимный параметр $k_n = 0,04$ рад/м. Построения выполнены для случая поворота автопоезда на 180° .

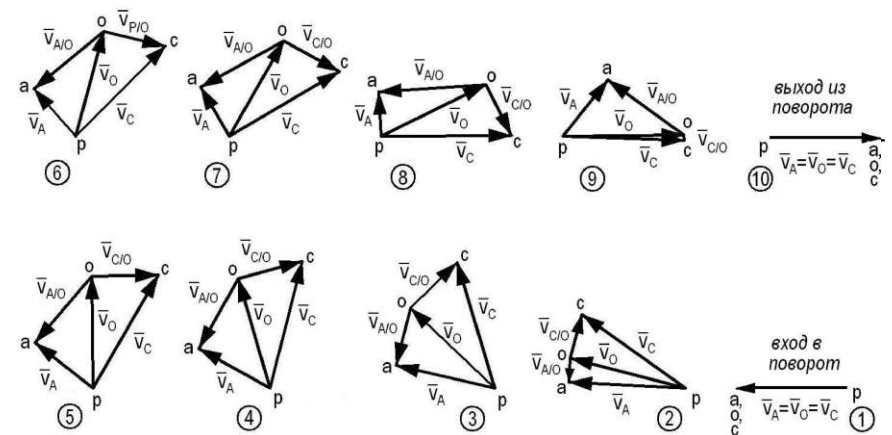


Рис. 9 – Планы скоростей точек А, О и Р автопоезда для ряда его последовательных положений в процессе поворота на 180°

Как видно из построений, на входе тягача в поворот скорость т. А непрерывно уменьшается. Наименьшее значение скорости т. А имеет в положении,

когда тягач уже сделал поворот на 180° , а тележка полуприцепа повернула только на 90° и находится посередине кругового участка траектории поворота (положение 8). Величина же относительной скорости $v_{O/A}$ ($\vec{v}_{O/A} = \vec{v}_{A/O}$) на

этом участке поворота увеличивается, следовательно, увеличивается и угловая скорость вращения полуприцепа относительно центра тележки ω_{OA} . Поэтому наибольшее замедление вращения внутренних колес тележки для данного автопоезда будет происходить на этом участке поворота.

План скоростей центров внутренних колес тележки для положения 8 представлен на рис. 10. Из него видно, что линейные скорости центров внутренних колес ($V_{K_2}, V_{K_4}, V_{K_6}$) на 20 ... 35% меньше скорости центра тележки (V_A), однако поскольку проекции векторов этих скоростей на направление вектора \vec{V}_A положительные, колеса вращаются в направлении движения центра тележки. Разумеется, для автопоезда, имеющего геометрические параметры, отличные от принятых для вышеприведенных построений, результаты будут другими.

Автоматизация расчета и построения ГПД автомобилей и седельных автопоездов. Поскольку построение габаритной полосы движения автопоезда и последующий кинематический анализ движения весьма трудоемки, создано специальное программное обеспечение, позволяющее автоматизировать построение габаритной полосы движения автопоезда при поворотах на 90° и 180° и выполнение кинематического анализа движения его звеньев для произвольного положения на траектории поворота. Программирование произведено в среде C++ Builder.

Математическую основу построения ГПД в автоматизированном режиме составляют соотношения, приведенные в работах проф. Я.Х. Закина [1] и [2]. Текущие координаты точек переходных (входного и выходного) участков основной траектории тягача (рис. 11) задавались по формулам [1], [2]

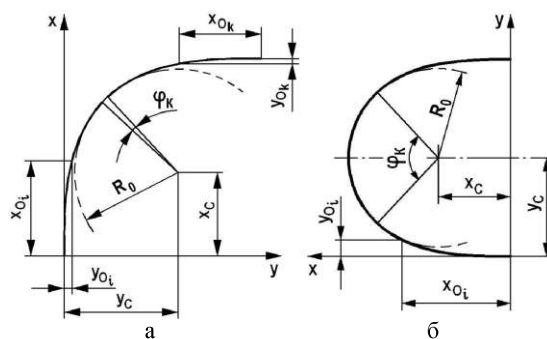


Рис. 11 – Построение основной траектории тягача при его повороте: а – на 90° ; б – 180°

Рис. 10 – План скоростей центров внутренних колес тележки для положения 8

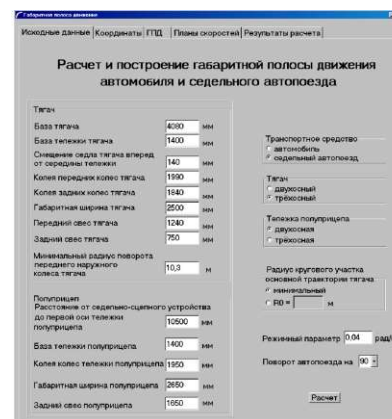
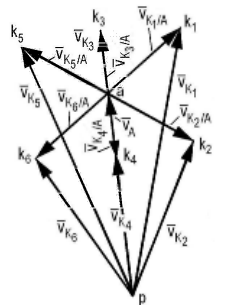


Рис. 12 – Вид разработанного приложения

$$x_{O_i} = \frac{1}{k_n} \int_0^{\Theta_0} \cos \left(-\frac{\ln \cos \Theta_0}{k_n L_0} \right) d\Theta_0 \approx \frac{\Theta_0^3}{6k_n^2 L_0} + \frac{\Theta_0^5}{60k_n^4 L_0};$$

$$y_{O_i} = \frac{1}{k_n} \int_0^{\Theta_0} \sin \left(-\frac{\ln \cos \Theta_0}{k_n L_0} \right) d\Theta_0 \approx \frac{\Theta_0}{k_n} - \frac{\Theta_0^3}{40k_n^3 L_0^2},$$

координаты центра кривизны С кругового участка основной траектории тягача – по формулам [1] $x_C = x_{0\max} - R_0 \sin \psi_{0\max}$,

$y_C = y_{0\max} + R_0 \cos \psi_{0\max}$, координаты точек других траекторий (середины тележки

полуприцепа, внешних и внутренних габаритных кривых тягача и полуприцепа) определялись из решения систем уравнений, составленных в соответствии с последовательностью графических построений по методике, изложенной в [1].

В созданном приложении (рис. 12) по заданным исходным данным (база тягача, ширина его колеи, габаритная ширина, передний и задний свес, радиус поворота переднего наружного колеса, режимный параметр, база полуприцепа, его габаритная ширина и задний свес, база и ширина колеи тележки) можно рассчитать ГПД (рис. 13), построить ее (рис. 14) и просмотреть результаты кинематического анализа (скорости характерных точек звеньев автопоезда и скорости центров колес тележки полуприцепа по относительной величине и по направлению для произвольного положения автопоезда на траектории поворота, рис. 15-17).

Данное приложение на несколько порядков уменьшает затраты времени не только на построение габаритной полосы движения автопоезда, но и позволяет в интерактивном режиме проводить анализ влияния на ее размеры геометрических параметров тягача и полуприцепа, что весьма ценно на стадии эскизного проектирования при разработке новых автотранспортных средств. С помощью данного приложения легко может быть выполнен анализ габаритной полосы не только в отношении ее размеров, но и в отношении величины поперечного юза колес тележки и возможности их остановки или изменения направления вращения в процессе поворота автопоезда.

На рис. 14 представлена габаритная полоса движения автопоезда в составе седельного тягача КрАЗ-64431 и полуприцепа с базой 10,2 м, при повороте на 90° (а) и на 180° (б) с радиусом поворота $R_0 = R_{0\min} = 8,2$ м при режимном параметре $k_n = 0,04$ рад/м, построенная с помощью разработанного

приложения. Основные геометрические размеры полосы (б) следующие: длина площадки разворота – 19 м, ширина площадки разворота – 23 м.

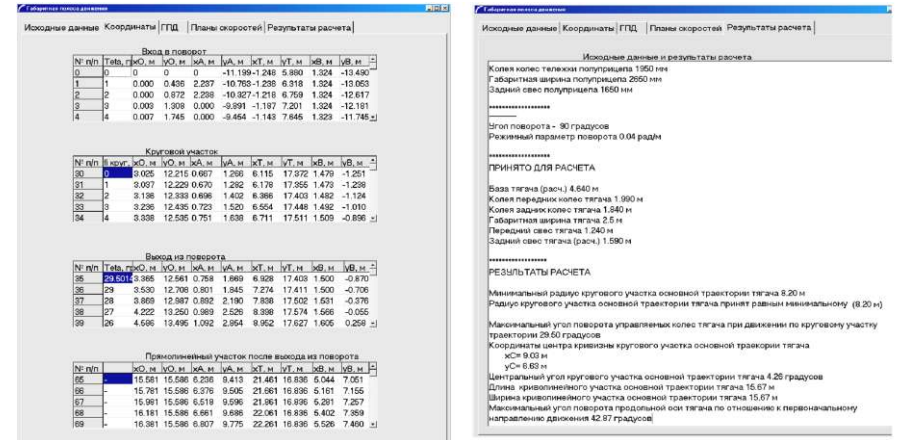


Рис. 13 – Расчет параметров ГПД при помощи разработанного приложения

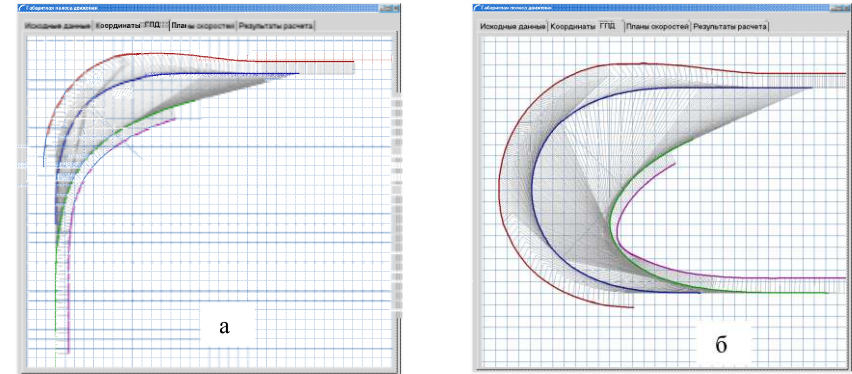


Рис. 14 – Автоматизированное построение ГПД на примере автопоезда, состоящего из тягача КрАЗ-64431 и полуприцепа с длиной базы 10,2 м при радиусе поворота 8,2 м (масштабная сетка – 1м×1м) при повороте автопоезда: а – на 90°; б – на 180°

Планы скоростей для наиболее неблагоприятных положений полуприцепа в отношении поперечного юза и возможности смены направления вращения колес тележки (конец кругового участка траектории тягача – начало выхода из поворота) представлены на рис. 16, а.

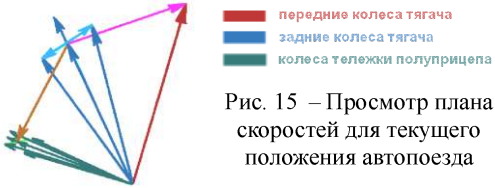


Рис. 15 – Просмотр плана скоростей для текущего положения автопоезда

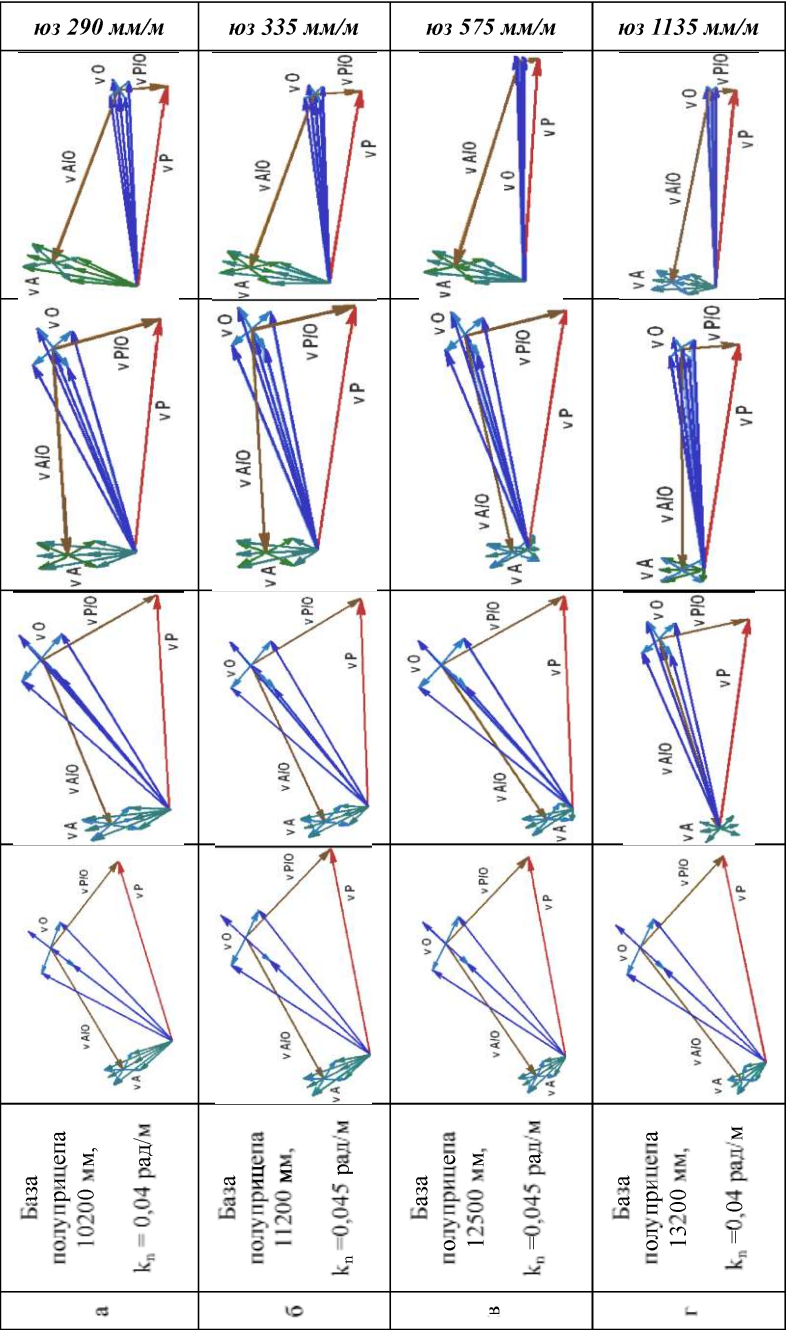


Рис. 16 – Результаты кинематического анализа движения длиннобазных автопоездов при повороте на 180° (конец кругового участка поворота – начало выхода из поворота) при $R_0 = R_{\min} = 8,2$ м

Анализ ГПД и планов скоростей седельных автопоездов. Как видно из планов скоростей (рис. 16, а), направления скоростей центров внутренних колес тележки для рассматриваемого автопоезда таковы, что вращение колес происходит вперед – в направлении движения автопоезда. Величина поперечного юза на наиболее неблагоприятном (крутом) участке составляет 290 мм на 1 м траектории центра тележки. Она вычисляется следующим образом. По разности углов между векторами скоростей центра тележки в конечной и начальной точках участка определяется угол поворота центра тележки $\Delta\theta = \theta_k - \theta_n$ на данном участке и по величине этого угла и расстоянию r между проекциями на дорогу центра тележки и центра колеса наиболее удаленной (передней или задней) оси определяется перемещение Δs центра колеса при повороте тележки на угол $\Delta\theta$: $\Delta s = r \cdot \Delta\theta \cdot (\pi/180)$. В данном случае $\theta_n = 56^\circ$, $\theta_k = 118^\circ$, $r = 1180$ мм, $\Delta s = 1277$ мм. Длина траектории центра тележки на этом участке $\Delta l = 4,4$ м. Следовательно, поперечный юз на этом участке составляет $J = \Delta s / \Delta l = 290$ мм/м.

Результаты кинематического анализа движения, полученные при помощи разработанного приложения, для ряда длиннобазных автопоездов при их поворотах на 90° и на 180° показывают, что чем больше база полуприцепа, тем больше неблагоприятный участок (в отношении юза колес тележки и остановки их вращения) смещен от середины кругового участка поворота к концу переходного участка выхода из поворота. Планы скоростей для таких наиболее неблагоприятных положений при повороте на 180° показаны на рис. 16.

Из рис. 16 видно, что при повороте длиннобазных автопоездов на 180° с минимальным радиусом кругового участка основной траектории тягача даже при рекомендуемом [1] значении режимного параметра поворота $k_n \approx 0,04$ рад/м (рис. 3, б) скорости центров внутренних колес тележки полуприцепа на некотором участке (конец кругового участка поворота – начало выхода тягача из поворота) существенно уменьшаются. Для полуприцепа с длиной базы 10,2 м скорость наружных по отношению к центру поворота колес составляет 40% скорости v_O (скорости основной точки автопоезда – оси шкворня полуприцепа), скорость же внутренних по отношению к центру поворота колес – лишь 17%. При большей базе полуприцепа (11,2 м) скорость наружных колес тележки $0,3 v_O$, внутренних – $0,12 v_O$, поперечный юз – до 335 мм/м. Если базу полуприцепа увеличить до 12,5 м, при таких параметрах ГПД скорость наружных колес тележки на выходе из кругового участка поворота уменьшится до $0,2 v_O$, внутренние же колеса тележки на этом участке уже перестанут вращаться, а юз увеличится до 575 мм/м. При еще большей базе полуприцепа (13,2 м) скорость наружных колес уменьшается до $0,08 v_O$, а внутренние колеса вращаются в сторону, противоположную направлению движения полуприцепа; юз колес тележки полуприцепа становится явно недопустимо большим – до 1135 мм/м. Для предотвращения вращения внутренних колес тележки в обрат-

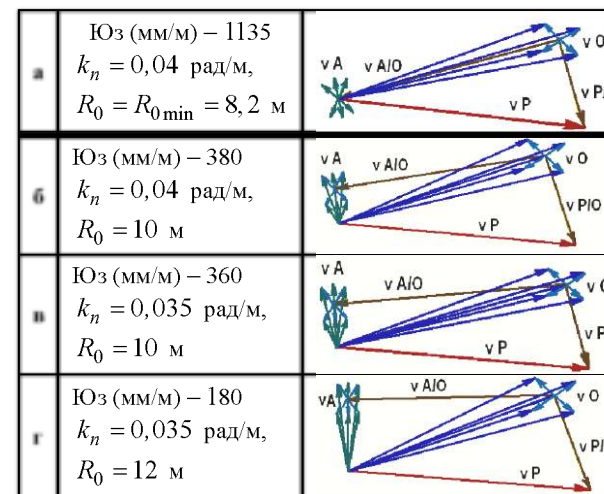


Рис. 17 – Планы скоростей: а – при минимальном радиусе кругового участка основной траектории тягача; б, в, г – при увеличенном радиусе кругового участка основной траектории тягача

телем рулевого колеса, $0,035$ рад/м) все колеса тележки вращаются в направлении движения полуприцепа, а юз на наиболее неблагоприятном участке поворота существенно уменьшается. Вместе с тем следует отметить, что и габаритные размеры площадки разворота (особенно - ширина) при этом возрастают. Для случаев, рассмотренных на рис. 17, а и 17, г, они составляют соответственно $19 \text{ м} \times 23 \text{ м}$ и $21 \text{ м} \times 30 \text{ м}$.

Определение размеров площадки, достаточной для разворота автопоезда без визуально определяемого юза. Как отмечено в п.1 настоящей статьи, считается, что для нормальных условий эксплуатации величина поперечного юза колес тележки полуприцепа при повороте приемлема тогда, когда визуально он не определяется. Поскольку в настоящее время допускаемая величина юза нормативными документами не регламентируется, ее оценку выполняем из следующих соображений. В ГОСТ Р 52389-2005 [5] указано, что „...любое транспортное средство категорий М₂, М₃, N или любой полуприцеп должны иметь возможность поворота на 360° в любую сторону внутри площади, заключенной между двумя концентрическими окружностями радиусами $R_{\text{з.нар}} = 12,5$ м и $R_{\text{з.вн}} = 5,3$ м” (п. 5.6.1). В п. 5.6.1.2 того же документа отмечено, что полуприцеп отвечает этим требованиям в случае, если расстояние от оси седельно-сцепного устройства до центра неуправляемой тележки не превышает $\sqrt{(12,50 - 2,04)^2 - (5,30 + B/2)^2}$, где B – ширина полуприцепа.

ную сторону необходимо увеличение радиуса кругового участка основной траектории тягача и (или) уменьшение величины режимного параметра поворота. Планы скоростей при увеличенном радиусе кругового участка приведены на рис. 17 (база полуприцепа 13200 мм).

Из рис. 17 видно, что при увеличенном радиусе кругового участка траектории тягача (10 м и 12 м) и уменьшенном режимном параметре поворота (условно – меньшей скорости вращения води-

Такое условие выполняется для полуприцепов базой до 7,45 м (здесь принято $B = 2,5$ м, база тележки 1,4 м, колея 1,9 м). Для тележки с такими размерами $r = 1180$ мм. Радиус основной траектории полуприцепа при круговом движении $R_1 \approx R_{\text{кол}} + B/2 = 6,55$ м. Получаем, что при повороте этого автопоезда на 360° $\Delta s = r \cdot 2\pi = 7414$ мм, $\Delta l = R_1 \cdot 2\pi = 6,55 \cdot 2\pi = 41,2$ м. Таким образом, стандартом [5] юз, не превышающий по крайней мере $J = \Delta s / \Delta l = 180$ мм/м, допускается. Выполним сравнение этой величины с расчетной величиной юза для двух случаев испытаний автопоездов на маневренность в ПАО „Азов-маш”: когда юз визуально не определялся и когда он был замечен.

Случай 1. Испытание на маневренность автопоезда *АТЗ-40* (автопоезд в составе тягача *КрАЗ-6443* и полуприцепа базой 6,6 м). Повороты на 180° выполнялись при радиусах кругового участка основной траектории тягача 9,2 м (наименьшем при режимном параметре 0,03 рад/м) и 12,5 м. Результаты испытаний совпадают с расчетными (размеры площадок разворота – 21 м×25 м (при $R_0 = 9,2$ м) и 22 м×30 м (при $R_0 = 12,5$ м), ширина коридора – соответственно 7,2 м и 6,0 м). Юз визуально не был замечен, по расчету он составляет до 135 мм/м (при $R_0 = 9,2$ м) и до 115 мм/м (при $R_0 = 12,5$ м).

Случай 2. Испытание на маневренность транспортного агрегата для перевозки длинномерного груза (полуприцеп имеет базу 10,2 м). При вписывании автопоезда в ГПД при развороте на 180° , рассчитанную при рекомендуемом [1] значении режимного параметра $k_n = 0,03$ рад/м и при $R_0 = R_{0\min} = 10,2$ м (ширина площадки разворота 26 м, длина площадки разворота 19 м), юз колес тележки был заметным. По расчету он составляет 355 мм/м (в два раза больше, чем $J = 180$ мм/м). Чтобы при развороте такого автопоезда на 180° юз колес тележки полуприцепа не превышал 180 мм/м, радиус кругового участка основной траектории тягача необходимо увеличить на 1 м ($R_0 = 11,2$ м). Ширина площадки разворота при этом увеличивается с 26 м до 28 м.

Для рассмотренного ранее (см. рис. 17) автопоезда с полуприцепом базой 13,2 м (тележка полуприцепа – двухосная (ЧМЗАП-8410), база 1215 мм, колея 2710 мм) для ограничения юза в пределах 180 мм/м радиус кругового участка основной траектории тягача (КрАЗ-64431) необходимо увеличивать с 8,2 м до 13,5 м (при $k_n = 0,035$ рад/м). При этом размеры площадки, необходимой для разворота, увеличиваются с 19 м×23 м (рис. 18, а) до 22 м×32,5 м (рис. 18, б).

Заключение. При определении минимальных размеров площадки для безопасного поворота седельного автопоезда необходимо учитывать не только рекомендации [1] по выбору режимного параметра, но и результаты кинематического анализа движения автопоезда и показатель поперечного юза, особенно – если длина базы полуприцепа превышает 10 м. При неудовлетворительных результатах кинематического анализа и при большом показателе поперечного юза следует увеличивать размеры ГПД путем пересчета ее при большем радиусе кругового участка основной траектории тягача и (или) меньшем значении режимного параметра (при

более медленном повороте управляемых колес тягача).

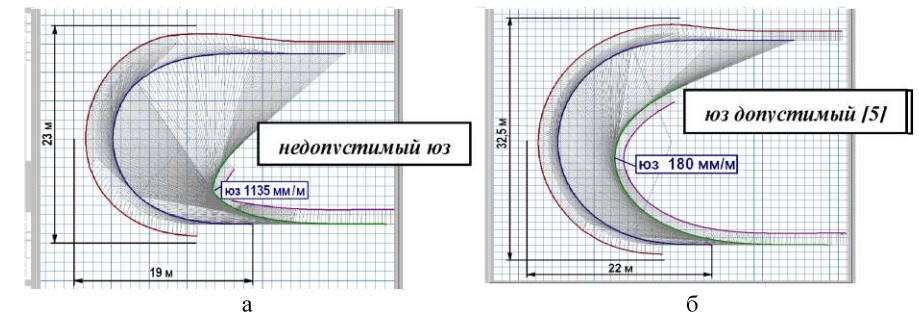


Рис. 18 – ГПД автопоезда с базой полуприцепа 13,2 м при:
а – $R_{0\min} = R_0 = 8,2$ м, $k_n = 0,04$ рад/м; б – $R_0 = 13,5$ м, $k_n = 0,035$ рад/м

Список литературы: 1. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с. 2. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М.: Транспорт, 1967. – 252 с. 3. Греков В.Ф., Орлов С.В., Пьянков А.А., Ткаченко Ю.А. Влияние конструктивно-компоновочных схем транспортных средств на их маневренность // Системы обработки информации, 2008. – Вып. 3 (70). – С. 34-38. 4. В.А. Иларионов, М.М. Морин, Н.М. Сергеев и др. Теория и конструкция автомобиля. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с. 5. ГОСТ Р 52389-2005. Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы испытаний.

Надійшла до редакції 12.09.2012

УДК 539.3

И.А. КИРИЧЕНКО, д.т.н., проф., зав. каф. метрологии Восточноукраинского нац. ун-та им. В. Даля, Луганск;
Е.Н. БАРЧАН, к.т.н., гл. констр. НТК ЧАО „АзовЭлектроСталь”, Мариуполь;
О.В. КОХАНОВСКАЯ, научн. сотр. каф. ТММ и САПР НТУ „ХПИ”

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВИБРОУДАРНЫХ МАШИНАХ

В статье описана методика и результаты экспериментальных исследований динамических процессов в виброударных машинах. Исследования проведены на примере выбивной машины для выбивки крупного литья. Применен метод динамической электротензометрии.

Ключевые слова: виброударная машина, экспериментальные исследования, динамический процесс, собственная частота колебаний, резонанс

У статті описана методика і результати експериментальних досліджень динамічних процесів у віброударних машинах. Дослідження проведені на прикладі вибивної машини для вибивки крупного литва. Застосовано метод динамічної електротензометрії.

Ключові слова: віброударна машина, експериментальні дослідження, динамічний процес, власна частота коливань, резонанс.

© И.А. Кириченко, Е.Н. Барчан, О.В. Кохановская